8Л

УДК 001.51:004.81

Д.В. Ламовский, Р.Х. Садыхов
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Беларусь
lamovsky@bsuir.by, rsadykhov@bsuir.by

Алгоритм построения модели сцены для одноканальной системы видеонаблюдения

Описан алгоритм калибровки камеры одноканальной системы видеонаблюдения, позволяющий определить модель сцены на основании минимального количества числовых параметров. Представленная модель отличается простотой калибровки и отсутствием требований к указанию реальных координат видимых точек. Модель может применяться в реальных системах видеонаблюдения для определения скорости объектов и расстояния до них в реальном масштабе времени. Также модель можно применять для постфактум анализа событий на видеопоследовательностях.

Обработка видеоданных в системах видеонаблюдения получает все большую и большую актуальность в связи с широким распространением таких систем. Системы видеонаблюдения широко применяются для обеспечения безопасности людей и имущества, контроля доступа, мониторинга транспортных потоков и различных территорий (автостоянки, склады, людные места). Задача обработки видеоданных в цифровых системах видеонаблюдения может рассматриваться как ряд подзадач:

– получение видеоданных,
– хранение видеоданных,
– анализ контента (содержимого) видеоряда.

Первая подзадача состоит в применении стандартных или специализированных устройств захвата для получения данных с большого количества источников, либо в использовании специальных средств для доставки данных с удаленных камер по цифровым каналам передачи данных. Вторая направлена на оптимальное использование ресурсов при хранении полученной информации, а также ее восстановление при необходимости детального изучения. На этом этапе применяются различные алгоритмы компрессии и способы хранения в базах данных.

Анализ содержимого видеоданных (третья задача), получаемых с помощью систем видеонаблюдения, призван помочь операторам таких систем при анализе информации. В простейшем случае такая интеллектуальная система может привлекать внимание оператора при появлении движения в поле видимости, при превышении движущимся объектом некоторой скорости. Более сложными являются задачи анализа типа движущегося объекта (человек, автомобиль, самолет), локализация области интереса движущегося объекта (лицо человека, номерной знак машины), идентификация объекта. Наличие в системе подобной функциональности позволит в высокой степени автоматизировать процессы контроля доступа, движения автомобилей на стоянках, повысить уровень безопасности в местах пребывания людей и на автомобильных дорогах. Обработка видеоданных может включать в себя ряд этапов, среди которых:

– детекция областей движения;
– слежение за объектом;
– анализ типа объекта;
– локализация области интереса;
– идентификация объекта.

Отдельно стоит задача моделирования сцены или калибровка камеры [1]. Моделирование сцены необходимо для того, чтобы система могла «понять», на что она «смотрит», то есть установить соответствие между точками изображения и точками сцены. Построение модели позволяет оценивать реальные размеры объектов сцены, а иногда и расстояние до них. Такая информация позволит определять скорости движения объектов, задавать ограничения на размеры анализируемых объектов, выбирать области интереса для анализа изображения сцены на различных масштабах. С практической точки зрения это означает, что появляется возможность решать задачи мониторинга транспортных потоков с контролем скорости без применения специальных датчиков. Также это позволит проводить анализ дорожно-транспортных происшествий постфактум в случае возникновения спорных ситуаций.

Классический подход к решению задачи моделирования сцены – вычисление преобразования из мировой системы координат в систему координат камеры и обратно [2], [3]. Преобразование это состоит из матрицы поворота и матрицы сдвига. Для построения такого преобразования необходимо определить набор пар точек реальной сцены и их проекций на изображение. Эта задача не представляет сложности в контролируемых условиях, но зачастую при мониторинге реальных сцен становится практически неразрешимой.

Ввиду всего вышесказанного весьма актуальна задача разработки модели, которая имела бы относительно простой способ калибровки и позволяла бы определять глубину точек сцены на основе данных, полученных с одной камеры системы видеонаблюдения.

Построение модели

Наша модель основана на следующих допущениях: объекты интереса движутся по поверхности, форма которой близка к плоскости; камера установлена на высоте h над этой поверхностью и направлена вниз под небольшим углом к ней. Большинство реальных сцен удовлетворяют этим условиям.

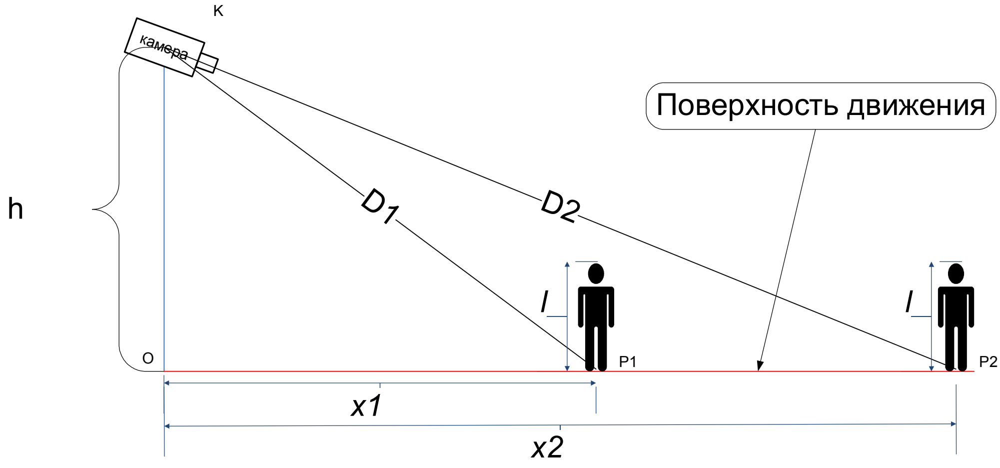


Рисунок 1 – Схема сцены

Схематически модель такой сцены можно изобразить, как показано на рис. 1. Для такой конфигурации справедливо следующее соотношение оптической проекции

$$\frac{l}{D} = \frac{l`}{f}, \tag{1}$$

где $l`$ – видимая высота объекта, f – фокусное расстояние объектива камеры.

Таким образом, расстояние до объекта обратно пропорционально его видимому размеру. Соответственно отношение расстояний до одного и того же объекта в разных точках реальной сцены обратно пропорционально отношению видимых размеров объекта, что справедливо для любых видимых объектов. Поэтому это отношение может быть выражено через коэффициент

$$k = \frac{D_2}{D_1} = \frac{l'_1}{l'_2}. \quad (2)$$

На основании такого коэффициента можно получить расстояние до точки сцены на поверхности движения, зная расстояние до другой точки. Так для прямоугольных треугольников OKP_1 и OKP_2 на рис. 1 справедливо:

$$h^2 + x_1^2 = D_1^2, \qquad h^2 + x_2^2 = D_2^2. \quad (3)$$

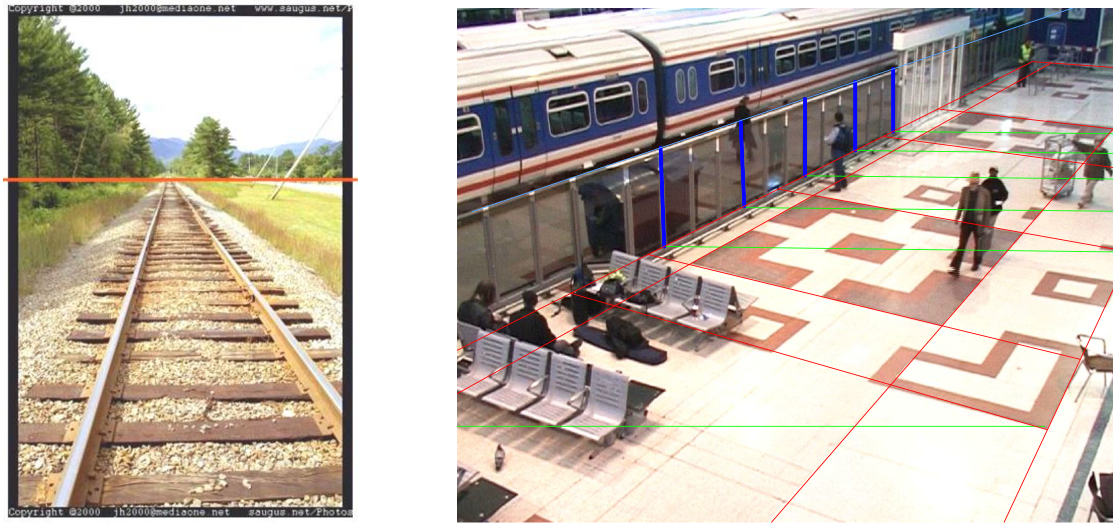
На основании соотношений (2) и (3) получаем, что расстояние до объекта может быть вычислено на основании высоты установки камеры, известного расстояния до одной из точек сцены и соответствующего коэффициента:

$$x_2 = \sqrt{k^2(h^2 + x_1^2) - h^2}. \quad (4)$$

Таким образом, для вычисления расстояния до любой точки необходимо определить коэффициенты k относительно базовой точки для всех видимых точек поверхности движения. В нашем случае базовой точкой выступает точка P_1 и расстояние до нее должно быть задано при настройке параметров модели.

Определение коэффициентов

Для вычислений коэффициентов в простейшем случае можно измерить видимые размеры объекта на различных расстояниях от камеры. Отношения этих размеров дадут нам коэффициенты в точках измерения. Для всех остальных точек изображения коэффициенты могут быть получены с помощью интерполяции. Такой подход либо требует наличия на сцене объектов одинакового размера на различном удалении (например, стойки забора), либо требует отметки на стоп-кадрах размера удаляющегося или приближающегося объекта (автомобиля, человека). В первом случае очень сложно обеспечить наличие требуемых условий, во втором – усложняется процедура уточнения параметров модели.



а б

Рисунок 2 – а) параллельные линии; б) калибровочные линии

Ниже предложен новый подход, основанный на свойствах параллельных линий в плоскости под воздействием проективных преобразований. В этом случае коэффициенты могут быть определены на основании следующих свойств (рис. 2а):

1) параллельные линии пересекаются на линии горизонта;

2) плоскость движения «лежит» под линией горизонта;

3) линия расстояния – линия, расстояние до всех точек которой одинаково. Все линии расстояния параллельны линии горизонта;

4) отношение расстояний между параллельными линиями на различном удалении соответствует коэффициенту *k.*

Таким образом, для построения модели необходимо обозначить группы параллельных линий, лежащих на плоскости движения (калибровочных линий). Пересечение этих линий определяет видимую линию горизонта. Для всех линий, параллельных линии горизонта и лежащих ниже ее, нужно определить коэффициенты *k*. Эти коэффициенты равны отношению расстояния между соответствующими калибровочными линиями для текущей линии расстояния и линии расстояния, проходящей через базовую точку. На рис. 2б представлен пример калибровочных линий на реальной сцене.

В классическом подходе нам нужно было бы определить набор точек с их реальными координатами и указать соответствующие точки на картинной плоскости. Это выглядит несложно, когда мы имеем структурированный рисунок на полу, но такой подход становится неприменим на практике в случае, например, автомобильной дороги. Подход с параллельными линиями может быть применен в такой ситуации.

Определение «базовой точки»

Базовая точка и расстояние до нее могут быть определены вручную и автоматически. При ручном определении необходимо измерить расстояние от подножья камеры до точки на плоскости движения и задать координаты проекции этой точки. При этом могут возникнуть проблемы на реальных сценах (интенсивное автомобильное движение).

При автоматическом определении точки необходимо вычислить угол наклона камеры и на основании этой информации определить расстояние до пересечения оптической оси камеры и плоскости движения. Вычислить угол наклона камеры можно на основании прямоугольного треугольника КНС (рис. 3). Где f – фокусное расстояние, а l_h – видимое расстояние от оптического центра до проекции линии горизонта. Соответственно расстояние до «базовой линии» можно получить с помощью второго прямоугольного треугольника OKZ с помощью тригонометрических соотношений.

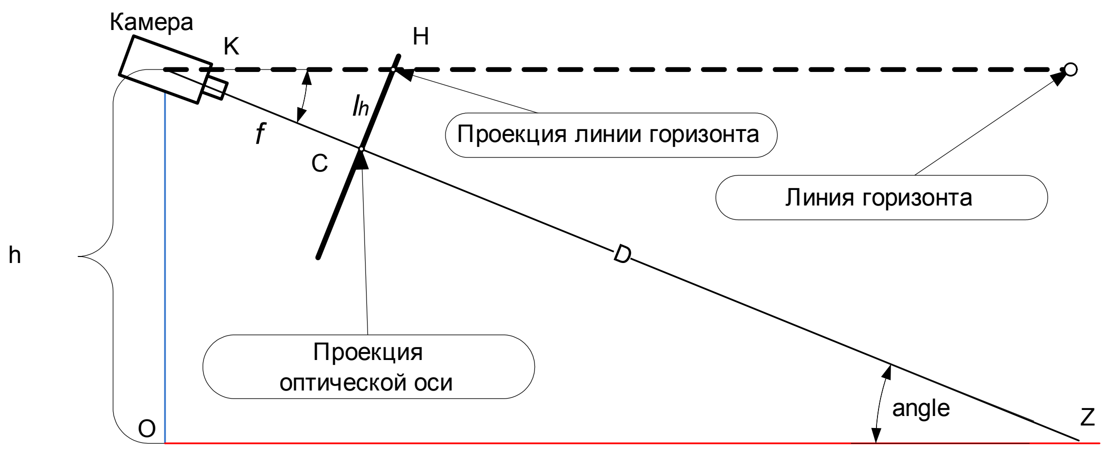


Рисунок 3 – Геометрия камеры

Основной проблемой здесь остается определение проекции оптического центра. В реальности его положение сильно отличается от центра изображения. Это происходит, вероятно, по нескольким причинам: неточная центровка матрицы относительно оптического центра объектива, погрешность объектива, не вся площадь матрицы используется в качестве активной. Поэтому для более точного определения угла наклона камеры необходимо предварительно вычислить положение оптического центра на изображении. Для этого использовалась процедура определения внутренних параметров системы. Она состоит в вычислении величины искажений вносимых линзой (величина «рыбьего глаза» [4], [5]). Центр этих искажений будет соответствовать оптическому центру.

Выводы

Метод тестировался на изображениях базы данных PETS2006 (http://www.pets2006.net/), а также на изображениях, полученных в лаборатории с реальной камеры. В обоих случаях параметры оптической системы и высота установки камеры были известны. При тестировании внимание уделялось точности измерения расстояния до ближней видимой камерой точки на поверхности движения, а также погрешности, вносимой при удалении точек от камеры (погрешность шага). На рис. 4 представлены изображения тестируемых сцен.



Рисунок 4 – Результаты калибровки на различных реальных сценах

Для всех тестируемых изображений удалось добиться точности определения расстояния 5 – 15 см с погрешностью шага от 2 до 7 см на 1 м. Тестирование показало, что точность метода сильно зависит от точности указания параллельных линий. Более высокая установка камеры дает более низкую погрешность и снижает вероятность субъективной ошибки при настройке.

Таким образом, был разработан метод моделирования сцены, отличающийся простотой калибровки, который применим для «неконтролируемых» реальных сцен. Однако модель не лишена недостатков. Так точность модели сильно зависит от субъективной калибровочной информации, а также остается проблема с определением оптического центра для каждой камеры при массовом производстве комплектов.

Литература

1. Clarke T.A. and Fryer J.G. The Development of Camera Calibration Methods and Models // Photogrammetric Record. – № 16(91). – April 1998. – P. 51-66.
2. Roger Y. Tsai. An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision // Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – Miami Beach (FL). – 1986. – P. 364-374
3. Roger Y. Tsai. A versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses // IEEE Journal of Robotics and Automation. – August 1987. – Vol. RA-3, № 4. –P. 323-344.
4. Fryer J.G. and Brown D.C. Lens Distortion for Close-Range Photogrammetry // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – Vol. 52(1). – 1986. – P. 51-58.
5. Brown D.C. Decentering Distortion of Lenses // Photometric Engineering. – 1966. – Vol. 32. – № 3. – P. 444-462.

Д.В. Ламовський, Р.Х. Садихов

Алгоритми побудови моделі сцени одноканальної системи відеоспостереження

Наведений алгоритм калібрування камери одноканальної системи відеоспостереження, дозволяє визначити модель сцени на основі мінімальної кількості числових параметрів. Наявна модель відмінна простотою калібрування і відсутністю вимог щодо вказівки реальних координат видимих точок. Модель може використовуватися в реальних системах відеоспостереження для визначення швидкості об’єктів та відстані до них у реальному масштабі часу. Також модель можна використовувати для постфактум аналізу подій на відеопослідовностях.

Статья поступила в редакцию 24.07.2008.